

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/014727

International filing date: 27 December 2004 (27.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: US
Number: 60/591,775
Filing date: 27 July 2004 (27.07.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 23 May 2005 (23.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

PA 1297555

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME;

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

March 22, 2005

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM
THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK
OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT
APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A
FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 60/591,775

FILING DATE: July 27, 2004

EP / 04 / 14727

By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS



P. SWAIN
Certifying Officer



21861 U.S. PTO

PTO/SB/16 (01-04)

Approved for use through 7/31/2006. OMB 0851-0032
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

Express Mail Label No. 22151 U.S. PTO
60/591775

INVENTOR(S)					
Given Name (first and middle (if any))	Family Name or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)			
Susanne Wolfgang	Beder Singer	Aalen, Germany Aalen, Germany			
Additional inventors are being named on the _____ separately numbered sheets attached hereto					
TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)					
IMMERSION LITHOGRAPHY AT HIGH NUMERICAL APERTURE					
Direct all correspondence to: CORRESPONDENCE ADDRESS					
<input checked="" type="checkbox"/> Customer Number: 07278					
OR					
<input type="checkbox"/> Firm or Individual Name Melvin C. Garner DARBY & DARBY P.C.					
Address P.O. Box 5257					
City	New York	State	NY	Zip	10150-5257
Country	US	Telephone	(212) 527-7700	Fax	(212) 753-6237
ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)					
<input checked="" type="checkbox"/>	Specification Number of Pages	19	<input type="checkbox"/>	CD(s), Number	
<input checked="" type="checkbox"/>	Drawing(s) Number of Sheets	1	<input type="checkbox"/>	Other	
<input checked="" type="checkbox"/>	Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76 (specify): 				
METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT					
<input type="checkbox"/> Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.					
<input checked="" type="checkbox"/> A check or money order is enclosed to cover the filing fees.					
<input checked="" type="checkbox"/> The Director is hereby authorized to charge filing fees or credit any overpayment to Deposit Account Number: 04-0100					
<input type="checkbox"/> Payment by credit card. Form PTO-2038 is attached.					
FILING FEE AMOUNT (\$)					
160.00					
The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.					
<input checked="" type="checkbox"/> No. <input type="checkbox"/> Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are: 					

Respectfully submitted,

[Page 1 of 1]

Date July 27, 2004

SIGNATURE

TYPED OR

PRINTED NAME

Edward J. Ellis

TELEPHONE

(212) 527-7704

REGISTRATION NO.

(if appropriate)

40,389

Docket Number:

01641/0201694-US0**USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT**

W:\01641\0201694us0\00225419.DOC

Express Mail Label No.

Dated:

21861

U.S. PTO

PTO/SB/17 (10-03)

Approved for use through 7/31/2008. OMB 0551-0032

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

FEE TRANSMITTAL for FY 2004

Effective 10/01/2003. Patent fees are subject to annual revision.

☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27

TOTAL AMOUNT OF PAYMENT (\$ 160.00

Complete if Known

Application Number	Not Yet Assigned
Filing Date	Concurrently Herewith
First Named Inventor	Susanne Beder
Examiner Name	Not Yet Assigned
Art Unit	N/A
Attorney Docket No.	01641/0201694-US0

METHOD OF PAYMENT (check all that apply)

☒ Check ☐ Credit Card ☐ Money Order ☐ Other ☐ None

Deposit Account:

Deposit Account Number

04-0100

Deposit Account Name

Darby & Darby P.C.

The Director is authorized to: (check all that apply)

☐ Charge fee(s) indicated below ☒ Credit any overpayments

☐ Charge any additional fee(s) or any underpayment of fee(s)

☐ Charge fee(s) indicated below, except for the filing fee to the above-identified deposit account.

FEE CALCULATION

1. BASIC FILING FEE

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1001	770	2001	385	Utility filing fee	
1002	340	2002	170	Design filing fee	
1003	530	2003	265	Plant filing fee	
1004	770	2004	385	Reissue filing fee	
1005	160	2005	80	Provisional filing fee	160.00

SUBTOTAL (1) (\$ 160.00

2. EXTRA CLAIM FEES FOR UTILITY AND REISSUE

Total Claims	Extra Claims	Fee from below	Fee Paid
Independent Claims	** =	x	=
Multiple Dependent	** =	x	=

Large Entity		Small Entity		Fee Description
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)	
1202	18	2202	9	Claims in excess of 20
1201	86	2201	43	Independent claims in excess of 3
1203	290	2203	145	Multiple dependent claim, if not paid
1204	86	2204	43	** Reissue independent claims over original patent
1205	18	2205	9	** Reissue claims in excess of 20 and over original patent

SUBTOTAL (2) (\$ 0.00

**or number previously paid, if greater. For Reissues, see above

FEE CALCULATION (continued)

3. ADDITIONAL FEES

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1051	130	2051	65	Surcharge - late filing fee or oath	
1052	50	2052	25	Surcharge - late provisional filing fee or cover sheet.	
1053	130	1053	130	Non-English specification	
1812	2,520	1812	2,520	For filing a request for ex parte reexamination	
1804	920*	1804	920*	Requesting publication of SIR prior to Examiner action	
1805	1,840*	1805	1,840*	Requesting publication of SIR after Examiner action	
1251	110	2251	55	Extension for reply within first month	
1252	420	2252	210	Extension for reply within second month	
1253	950	2253	475	Extension for reply within third month	
1254	1,480	2254	740	Extension for reply within fourth month	
1255	2,010	2255	1,005	Extension for reply within fifth month	
1401	330	2401	165	Notice of Appeal	
1402	330	2402	165	Filing a brief in support of an appeal	
1403	290	2403	145	Request for oral hearing	
1451	1,510	1451	1,510	Petition to institute a public use proceeding	
1452	110	2452	55	Petition to revive - unavoidable	
1453	1,330	2453	665	Petition to revive - unintentional	
1501	1,330	2501	665	Utility issue fee (or reissue)	
1502	480	2502	240	Design issue fee	
1503	640	2503	320	Plant issue fee	
1460	130	1460	130	Petitions to the Commissioner	
1807	50	1807	50	Processing fee under 37 CFR 1.17(q)	
1806	180	1806	180	Submission of Information Disclosure Stmt	
8021	40	8021	40	Recording each patent assignment per property (times number of properties)	
1809	770	2809	385	Filing a submission after final rejection (37 CFR 1.129(a))	
1810	770	2810	385	For each additional invention to be examined (37CFR 1.129(b))	
1801	770	2801	385	Request for Continued Examination (RCE)	
1802	900	1802	900	Request for expedited examination of a design application	

Other fee (specify)

*Reduced by Basic Filing Fee Paid

SUBTOTAL (3) (\$ 0.00

SUBMITTED BY

Name (Print/Type) Edward J. Ellis

Registration No. 40,389

(Complete if applicable)

Telephone (212) 527-7704

Signature

Date

July 27, 2004

W:\01641\0201694us0\00225413.DOC

Express Mail Label No.

Dated: _____

Application No. (if known):

Attorney Docket No.: 01641/0201694-US0


Certificate of Express Mailing Under 37 CFR 1.10

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as Express Mail, Airbill No. _____ in an envelope addressed to:

2996120452-US

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

on July 27, 2004
Date



Signature

D Beck
Typed or printed name of person signing Certificate

Note: Each paper must have its own certificate of mailing, or this certificate must identify each submitted paper.

Provisional Patent Application Transmittal (1 page)
Application Data Sheet (2 pages)
Fee Transmittal (1 page)
Specification (19 pages)
Drawings (1 sheet)
Check in the amount of \$160.00
Return Postcard

{W:\01641\0201694us0\00225418.DOC [REDACTED]}

Application Data Sheet

Application Information

Application Type::	Provisional
Subject Matter::	Utility
Suggested Group Art Unit::	N/A
CD-ROM or CD-R?::	None
Sequence submission?::	None
Computer Readable Form (CRF)?::	No
Title::	IMMERSION LITHOGRAPHY AT HIGH NUMERICAL APERTURE
Attorney Docket Number::	01641/0201694-US0
Request for Early Publication?::	No
Request for Non-Publication?::	No
Small Entity?::	No
Petition included?::	No
Secrecy Order in Parent Appl.?::	No

Applicant Information

Applicant Authority Type::	Inventor
Status::	Full Capacity
Given Name::	Susanne
Family Name::	Beder
City of Residence::	Aalen
Country of Residence::	Germany
Street of mailing address::	Albatrosweg 37
City of mailing address::	Aalen
Country of mailing address::	Germany
Postal or Zip Code of mailing address::	73434

Applicant Authority Type::	Inventor
Status::	Full Capacity
Given Name::	Wolfgang
Family Name::	Singer
City of Residence::	Aalen
Country of Residence::	Germany
Street of mailing address::	Egerlandstr. 45
City of mailing address::	Aalen
Country of mailing address::	Germany
Postal or Zip Code of mailing address::	73431

Correspondence Information

Correspondence Customer Number:: 07278

Representative Information

Representative Customer Number:: 07278

Copy provided by USPTO from the IFW Image Database on 02/21/2005

Die Dicke der hochbrechenden Flüssigkeitsschicht, also der Immersionsflüssigkeit, kann vorzugsweise zwischen 0.1 und 10mm betragen, wobei eine geringe Dicke vorteilhaft ist, da hochbrechende Immersionsmedien in der Regel auch eine höhere Absorption zeigen.

Abbildung 1(10.1) zeigt als erstes Ausführungsbeispiel ein Lithographieobjektiv für 193nm mit Saphirlinse und Cyclohexan als Immersionsmedium bei einer bildseitigen numerischen Apertur von $NA = 1.45$. Der Arbeitsabstand beträgt 1mm. Das katadioptrische Design hat zwei Spiegel vorwiegend zur chromatischen Korrektur und Petzvalkorrektur, und ein Zwischenbild jeweils vor und nach dem Spiegelpaar. Die Zwischenbilder sind jedoch nicht vollständig korrigiert und dienen primär zur geometrischen Begrenzung der Konstruktion und zur Trennung der beiden hin und her gehenden Strahlenverläufe an den Spiegeln. Das Bildfeld (auf dem Wafer) ist rechteckig. Der äußere Feldradius (waferseitig) ist 15.5mm, der innere 4.65mm. Daraus resultiert ein Rechteckfeld von 26×3.8 mm.

Die Aperturblende (Systemapertur) ist im ersten Ausführungsbeispiel im ersten refraktiven Objektivteil angeordnet. Dies ist vorteilhaft, um die variable Aperturblende zum einen kleiner zu gestalten, zum anderen den (von der Objektebene (Maskenebene) her gesehen) hinteren Objektivteil beim Abblenden der Aperturblende vor unnützer und störender Strahlungsbelastung weitgehend zu schützen. Die hintere Blendenebene im bildseitigen Teilobjektiv liegt im Bereich zwischen der Linse mit maximalem Durchmesser und der Bildebene im konvergenten Strahlengang.

Im objektseitigen vorderen refraktiven Teilobjektiv ist eine Taille ausgebildet, welche vorwiegend zur Korrektur der Bildschale (Bildfeldkrümmung, Petzvalsumme) dient. In der Taille ist die Aperturblende angeordnet.

Der Einsatz von CaF_2 für die letzte Linse ist nicht vorzuziehen, da hierfür die numerische Apertur möglichst nicht größer als 1.425 ($\sim 95\%$ der Brechzahl von CaF_2) sein sollte. Als höherbrechendes Material kommt bei 193nm in diesem Beispiel Saphir zum Einsatz in der Letzten Linse.

Die bei der Verwendung von Saphir auftretende Doppelbrechung kann durch Aufspalten der letzten Linse in zwei Linsenelemente und zueinander Verdrehen der beiden Linsenelemente weitgehend kompensiert werden. Die Trennfläche ist dabei bevorzugt so gekrümmt, dass beide Linsenelemente ähnliche Brechkraft besitzen. Alternativ kann ein zweites Element aus Saphir zur Kompensation verwendet werden, welches sich an einer optisch ähnlich wirkenden Stelle im Objektiv befindet, beispielsweise in der Nähe der Zwischenbilder oder der Objektebene. Im vorliegenden Fall ist die letzte Saphirlinse in zwei nahezu gleich wirkende Linsenelemente aufgespalten. Der vordere Radius der Saphirlinse ist so ausgelegt, daß ein Aperturstrahl zum Feldmittenpunkt nahezu ungebrochen die Grenzfläche passiert, das heißt nahezu senkrecht auf die Grenzfläche trifft (Linsenradius ist nahezu konzentrisch mit dem Schnittpunkt der Bildebene mit der optischen Achse). Der Radius zwischen den beiden Linsenelementen der aufgespaltenen Saphirlinse ist flacher (Radius > 1.3 mal Abstand zum Wafer).

Gemäß dem Beispiel nach Figur 2(10.2) kann eine Quarzlinse mit erstem positivem Krümmungsradius und rückseitiger Planfläche auf eine oder zwei Planplatten aus Saphir zum Beispiel angesprengt sein. Damit erreicht man keine höhere NA als in Quarz möglich ist, man hat aber den Vorteil, daß der Ausbreitungswinkel der Lichtstrahlen im letzten Objektivteil, wo die Apertur am größten ist, durch das hochbrechende Medium verringert wird. Dies ist vorteilhaft, wenn man die Reflexionsverluste und Streulichte effekte an der Grenzfläche und an möglichen Schutzschichten auf der letzten Abschlußfläche berücksichtigt, die für diese sonst sehr großen Ausbreitungswinkel ein Problem darstellen. Die größten Winkel treten dann nur an der Ansprengfläche zwischen der Quarzlinse und der ersten höherbrechenden Planplatte auf. Diese Ansprengfläche ist geschützt vor Verunreinigungen und Beschädigungen, und kann mit einer auch gegenüber Umwelteinflüssen empfindlichen Beschichtung ausgelegt sein. Durch die optional zwei zueinander verdrehten Planplatten aus Saphir wird der Doppelbrechungseffekt für die vorwiegend zur Abbildung der Halbleiterstrukturen erforderlichen S- und P-Polarisationen in x- und y-Richtung so gut wie ideal kompensiert.

Die Quarzlinse hier führt jedoch aufgrund ihrer geringeren Brechzahl dazu, dass - aufgrund ihrer geringeren sammelnden Wirkung - bereits bei nicht ganz so großen bildseitigen numerischen Aperturen eines Projektionsobjektives mit limitierter Baulänge sehr große Linsendurchmesser erforderlich werden. Im 2. Ausführungsbeispiel (Abbildung 2 (10.2)) beträgt die Apertur $NA = 1.35$, jedoch sind die Linsendurchmesser größer als im ersten Ausführungsbeispiel. Hier beträgt der

Linsendurchmesser bereits über 143mm und damit beinahe das 212-fache der numerischen Apertur, während im Ausführungsbeispiel 1 nur das 200-fache der numerischen Apertur erreicht wird. Insbesondere ist im Ausführungsbeispiel 2 der maximale halbe Linsendurchmesser mit etwa 143mm sogar größer als der Spiegelhalbmesser mit etwa 136mm.

Um den Durchmesser der größten Linsenelemente des Projektionsobjektives und gleichzeitig die Wirkung der Doppelbrechung zu minimieren, besteht in einer alternativen Ausführungsform des Designbeispiels mit $NA = 1.45$ das letzte Linsenelement aus einer dünnen Saphirlinse mit positiver Brechkraft, die auf eine dünne Quarzplatte aufgesprengt ist (Ausführungsbeispiel 3, Abbildung 3 (10.3)). Die Quarzplatte kann dann bei auftretender Schädigung durch die Strahlungsbelastung ausgetauscht werden. Eine aufgesprengte Quarzplatte wirkt damit auch als austauschbarer Schutz der Saphirlinse vor Verunreinigungen beziehungsweise Kratzern oder Zerstörung.

Die NA ist in diesen Fällen durch die Brechzahl des Quarzes beschränkt, gegenüber einem Design mit einer letzten Linse aus reinem Quarz werden jedoch vor der letzten Linse kleinere Strahlwinkel und damit auch kleinere Durchmesser des gesamten Objektives und geringere Sensitivitäten (Störempfindlichkeiten gegen Fertigungstoleranzen) des letzten Linsenelementes erreicht. Im Beispiel 3 beträgt der maximale Linsendurchmesser mit 135mm nurmehr etwa das 186-fache der numerischen Apertur.

Selbstverständlich kann die vorliegende Erfindung auch für Objektive mit geringerer numerischer Apertur eingesetzt werden, um den Durchmesser bisheriger Projektionsobjektive erheblich zu reduzieren. Dies wirkt sich vorteilhaft auf den Preis des Projektionsobjektives aus, da die Materialmenge deutlich verringert werden kann.

Das Ausführungsbeispiel 4 (Abbildung 4 (10.4)) zeigt ein Lithographieobjektiv für 193nm mit Saphirlinse und Wasser als Immersionsmedium bei einer $NA = 1.35$ mit einem Arbeitsabstand von 1mm. Die Oberseite der Saphirlinse ist asphärisch, die Blende liegt im hinteren Teil des Objektivs. Der maximale Linsendurchmesser ist auf weniger als das 190-fache der numerischen Apertur begrenzt.

Mit hochbrechenden Materialien für mindestens das letzte Linsenelement sind noch höhere numerische Aperturen als $NA = 1.45$ möglich.

Das fünfte Ausführungsbeispiel (Abbildung 5 (10.5)) ist für Solid Immersion mit einer Saphirlinse ($n_{\text{Saphir}} = 1.92$) bei einer $NA = 1.6$ ausgelegt. Prinzipiell sind damit sogar numerische Aperturen bis zu $NA > 1.8$ machbar. Im Beispiel ist der äußere Feldradius waferseitig bei 15.53mm, der innere bei 5.5mm, d.h. das rechteckige Feld ist hier 26x3mm groß.

Da die hochaperturigen Strahlen mit Aperturen $NA > 0.52$ bei einem Übergang von Saphir in Luft an der Planfläche Totalreflexion erfahren, müssen für Solid Immersion Arbeitsabstände von weniger als der Wellenlänge realisiert werden, um evaneszente Wellen für die Belichtung des Wafers zu nutzen. Dies kann unter Vakuum erfolgen, indem der zu belichtende Wafer konstant auf beispielsweise 100nm $\sim \lambda/2$ in die Nähe der letzten Linsenfläche gebracht wird. Da sich kleine Änderungen des Abstandes aufgrund der mit dem Abstand exponentiell abfallenden Leistungsübertragung durch evaneszente Felder jedoch in starken Uniformitätsschwankungen auswirken, ist es vorteilhaft, den Wafer in direkten Kontakt mit der letzten Abschlussfläche zu bringen. Dazu kann der Wafer zur Belichtung an die letzte plane Linsenfläche angesprengt werden. In diesem Fall ist ein step-and-scan-Modus oder Stitchingverfahren der Belichtung vorzuziehen, d.h. größere Bereiche als das Bildfeld werden in einzelnen Schritten belichtet, wobei die Retikelmaste entsprechend zum Alignment justiert wird anstelle wie bisher üblich der Wafer. Dies ist auch daher vorteilhaft, dass durch die verkleinernde Abbildung die Justage des Retikels mit geringerer Genauigkeit als eine Justage des Wafers erfolgen kann. Aneinander grenzende Belichtungsbereiche oder aufeinander folgende Ebenen der Halbleiterstruktur durch nachfolgende Belichtungsschritte werden somit durch laterale und axiale Bewegung und Drehung der Retikelmaste zur Überdeckung gebracht, um somit die Halbleiterstrukturen auf den möglicherweise auch fehlerhaft angesprengten Wafern mit einer Overlay-Genauigkeit besser als wenige nm zu belichten. Hierzu werden z.B. Alignmentmarken des Retikels mit auf dem Wafer bereits belichteten Alignmentmarken zur Übereinstimmung gebracht.

Die Lösung des Wafers von der letzten Fläche erfolgt vorzugsweise unter Vakuum. Erforderlichenfalls befindet sich zwischen Wafer und letzter planarer Linsenfläche eine dünne Schicht (Pellicel/Membran), die z.B. nach jedem Belichtungsschritt ausgetauscht werden kann. Diese Membran kann z.B. auch am

Wafer haften bleiben und die Trennung unterstützen und dient insbesondere als Schutz der letzten planen Linsenfläche. Diese kann optional durch eine dünne Schutzschicht zusätzlich geschützt sein.

Bei Solid Immersion können bei der Belichtung im Randbereich der letzten Linsenfläche durch die bildgebenden Interferenzen stehende Wellen hoher Intensität entstehen. Für die wiederholte Belichtung einer Struktur auf einen Wafer ist es daher sogar vorteilhaft, wenn der Wafer durch das Ansprengen zufällig in gewissen Bereichen von wenigen Mikrometern ungenau positioniert wird, was durch die Justage durch das Retikel ausgeglichen wird, um das Einbrennen systematischer Strukturen in die letzte Linse zu verhindern.

Tabellen mit Designdaten

Angaben in Format von Code V(Trademark) Optikdesignsoftware

Ausführungsbeispiel 1 : NA = 1.45, $\beta = -0.25$, $\lambda = 193.4\text{nm}$

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMI DIAM.
0	0.000000	37.647680			62.000
1	200.438805	20.912608	SI02HL	1.56018811	83.110
2	747.538013	7.881173			83.845
3	317.250503	20.945704	SI02HL	1.56018811	86.831
4	22587.222465	11.951766			86.988
5	-354.957551	49.505975	SI02HL	1.56018811	87.016
6	-278.404969	31.885410			92.050
7	133.981210	32.856595	SI02HL	1.56018811	92.150
8	186.155059	11.833855			85.480
9	260.034334	38.111988	SI02HL	1.56018811	85.440
10	-248.127931	0.945803			84.087
11	97.319012	29.863172	SI02HL	1.56018811	63.308
12	247.011352	15.182258			54.518
13	0.000000	13.667911			46.858
14	-118.535589	9.039902	SI02HL	1.56018811	47.472
15	-136.528381	10.289540			49.929
16	-117.640924	9.240335	SI02HL	1.56018811	50.901
17	-267.170322	7.604882			57.478
18	-147.424814	27.656175	SI02HL	1.56018811	58.338
19	-83.904407	29.670597			63.295
20	-79.022234	16.329258	SI02HL	1.56018811	66.670
21	-99.429984	38.001255			76.192
22	-111.093244	49.234984	SI02HL	1.56018811	86.007
23	-144.921986	0.952550			106.817
24	-6366.151454	44.409555	SI02HL	1.56018811	119.243
25	-217.880653	270.750636			120.802
26	-219.739583	-239.183412	REFL		145.235
27	184.636114	269.507816	REFL		128.436
28	197.874974	37.626342	SI02HL	1.56018811	86.078
29	524.125561	15.614096			81.640
30	-406.239674	8.985971	SI02HL	1.56018811	81.383
31	106.800601	32.709694			77.510
32	-1162.346319	30.365146	SI02HL	1.56018811	78.287
33	-161.881438	8.348534			81.054
34	-166.445156	11.418724	SI02HL	1.56018811	81.127
35	-1076.211334	42.927908			95.134
36	-546.503260	41.443273	SI02HL	1.56018811	113.022
37	-173.835591	0.952741			119.110
38	-372.875307	32.537548	SI02HL	1.56018811	128.490
39	-210.380863	1.042699			131.802
40	303.213120	50.564746	SI02HL	1.56018811	145.286
41	5346.623071	0.921057			144.413

\\W:\01641\0201694us0\00225335.DOC [K:\01641\0201694us0\00225335.DOC] 23.7.2004 10:22:10

00225335.DOC

Seite 4 von 14

42	262.055999	33.924688	SI02HL	1.56018811	133.743
43	733.813747	0.928913			130.461
44	163.353186	39.409378	SI02HL	1.56018811	116.482
45	349.938998	0.920003			111.971
46	279.917107	28.062402	SI02HL	1.56018811	109.138
47	11299.235097	0.896338			104.077
48	88.608734	39.730068	SI02HL	1.56018811	73.896
49	114.264419	0.751321			56.000
50	65.720894	25.021454	SAPHIR	1.92674849	49.523
51	131.441788	25.021469	SAPHIR	1.92674849	39.659
52	0.000000	1.000000	HIINDEX	1.55600000	18.066
53	0.000000	0.000000	AIR	0.00000000	15.503

ASPHERIC		CONSTANTS			
SRF	1	6	8	12	16
K	0	0	0	0	0
C1	-2.263569e-08	5.432610e-08	-7.143508e-09	2.619298e-07	-3.184960e-07
C2	-9.879901e-13	-7.797101e-12	1.564097e-11	-3.814641e-11	-3.142211e-11
C3	3.070713e-17	8.455873e-16	-1.599946e-15	1.148617e-14	-1.728296e-15
C4	-6.018627e-21	-6.875038e-20	3.060476e-19	-4.506119e-18	-1.249207e-18
C5	4.073174e-26	3.863486e-24	-2.788321e-23	-5.794434e-23	-9.678014e-24
C6	1.391778e-29	-1.112310e-28	1.126553e-27	4.244063e-26	-4.921692e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	22	26	27	28	31
K	0	0	0	0	0
C1	2.863527e-08	8.694636e-09	-6.654566e-09	5.614883e-08	-1.288689e-07
C2	1.884154e-12	1.385871e-13	-1.686449e-13	1.450774e-12	-4.820574e-12
C3	1.636375e-17	1.727286e-18	-2.470942e-18	1.892047e-16	5.082977e-16
C4	1.888300e-20	4.461465e-23	-2.362157e-22	6.954696e-21	-1.375138e-19
C5	-2.021635e-24	-7.172318e-28	7.757389e-27	-1.108417e-24	1.555422e-23
C6	1.591959e-28	3.081240e-32	-3.330142e-31	2.459404e-28	-2.481857e-28
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	34	36	41	47	49
K	0	0	0	0	0
C1	-1.177998e-07	-2.187776e-08	-1.577571e-08	-8.244653e-09	2.024084e-07
C2	-5.683441e-12	-8.068584e-14	3.706857e-13	4.957466e-12	1.422789e-11
C3	-5.647064e-16	8.600815e-17	-1.492063e-17	-2.442972e-16	3.923209e-15
C4	-7.031797e-21	-2.071494e-20	-9.742126e-22	6.741381e-21	4.845684e-19
C5	-1.902336e-24	1.290940e-24	6.498365e-26	2.034640e-25	-2.134986e-22
C6	2.891112e-29	-3.884318e-29	-9.630077e-31	-2.570056e-29	5.591977e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	9.579172e-34	0.000000e+00

Ausführungsbeispiel 2 (b037b): NA = 1.35, $\beta = -0.25$, $\lambda = 193.4\text{nm}$

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMI DIAM.
0	0.000000	37.647680			62.000
1	526.196808	49.977602	SI02HL	1.56018811	75.944
2	-256.668548	1.120100			85.473
3	696.160336	28.649736	SI02HL	1.56018811	90.668
4	-2056.955285	22.244610			92.750
5	-195.811665	49.974335	SI02HL	1.56018811	92.870
6	-158.185918	9.821764			101.539
7	138.796255	49.218181	SI02HL	1.56018811	90.394
8	301.060143	1.660319			80.597
9	161.646552	42.095627	SI02HL	1.56018811	78.153
10	-406.812049	0.979493			70.852
11	100.020556	24.469422	SI02HL	1.56018811	52.354
12	102.330592	10.088496			38.573
13	0.000000	10.406389			37.226
14	-157.109979	8.950512	SI02HL	1.56018811	38.841
15	618.822068	8.847956			46.776
16	-561.300665	33.147649	SI02HL	1.56018811	51.388
17	-73.150544	9.448760			56.377
18	-69.300574	8.926672	SI02HL	1.56018811	57.781
19	-86.551998	8.003693			64.608
20	-78.306541	10.360105	SI02HL	1.56018811	66.592
21	-117.142798	2.915635			75.827
22	-356.673528	46.693825	SI02HL	1.56018811	86.465
23	-108.386760	266.538313			90.245
24	-177.092218	-236.552196	REFL		129.567
25	200.462621	288.213928	REFL		136.687
26	604.677438	50.022575	SI02HL	1.56018811	82.440
27	125.234518	13.901039			73.274
28	257.421526	34.367199	SI02HL	1.56018811	73.449
29	111.034905	29.307766			73.890
30	-848.480773	29.119950	SI02HL	1.56018811	74.404
31	-194.073508	7.840952			80.032
32	-225.307336	46.053997	SI02HL	1.56018811	81.668
33	-535.709449	0.941640			105.651
34	-1622.810467	46.410355	SI02HL	1.56018811	108.373
35	-173.207717	0.932943			113.398
36	-236.921577	22.327373	SI02HL	1.56018811	116.764
37	-261.220038	0.938270			124.709
38	364.988031	40.936258	SI02HL	1.56018811	142.520
39	11406.698081	0.943482			142.679
40	379.203162	36.840265	SI02HL	1.56018811	142.867
41	-33782.420006	0.921857			141.929
42	245.879991	49.886843	SI02HL	1.56018811	134.831
43	-10061.581161	0.883850			132.020
44	145.995266	39.892414	SI02HL	1.56018811	105.854
45	375.256079	0.817132			99.565
46	86.107554	37.429431	SI02HL	1.56018811	73.276
47	215.234027	0.667291			63.094
48	52.718236	26.546970	SI02HL	1.56018811	42.800
49	0.000000	16.594510	SAPHIR	1.92674849	42.800
50	0.000000	0.999826	H2O	1.43612686	42.800
51	0.000000	0.000000	AIR	0.00000000	15.501

ASPHERIC CONSTANTS

SRF	1	6	9	12	14
-----	---	---	---	----	----

{W:\01641\0201694us0\00225335.DOC
00225335.DOC

Seite 6 von 14

K	0	0	0	0	0
C1	-8.448852e-08	-4.108258e-09	-6.153759e-08	4.456016e-07	-6.305745e-07
C2	-4.761055e-12	-9.598657e-12	-1.480269e-11	1.857407e-11	-7.903687e-11
C3	-1.420861e-16	1.072661e-15	1.473191e-15	1.064538e-14	-2.534563e-14
C4	-8.023974e-20	-6.889975e-20	-3.255374e-19	-5.079476e-18	-3.735078e-18
C5	1.173437e-23	2.314066e-24	3.131675e-23	1.056992e-22	1.905659e-22
C6	-1.454073e-27	-3.793935e-29	-6.955428e-28	7.981996e-26	-3.500146e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00

SRF	20	24	25	26	29
K	0	0	0	0	0
C1	1.209336e-07	1.259532e-08	-4.077497e-09	1.111414e-07	-8.942189e-08
C2	1.869926e-11	3.424345e-13	-8.690596e-14	3.172584e-13	-1.116520e-13
C3	1.314270e-15	6.952906e-18	-1.505812e-18	3.429058e-19	4.168290e-16
C4	3.650689e-19	3.744203e-22	-8.583957e-23	-1.068048e-20	-2.231424e-19
C5	-5.603440e-23	-1.203108e-26	2.784182e-27	1.935865e-24	2.267328e-23
C6	9.844086e-27	6.714766e-31	-1.066606e-31	-5.318242e-29	-1.588914e-27
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00

SRF	32	34	39	45	47
K	0	0	0	0	0
C1	-9.549663e-08	-5.673614e-09	-1.220571e-08	-2.613273e-08	1.649072e-07
C2	-3.034519e-12	-5.774683e-14	4.574492e-13	4.882999e-12	-4.982295e-13
C3	1.985443e-16	-1.715933e-16	-3.026161e-17	-2.171852e-16	-2.462341e-16
C4	-1.403621e-20	5.949307e-21	8.480395e-22	8.220913e-21	6.329880e-19
C5	2.496197e-24	1.220843e-25	-5.629908e-27	2.183741e-25	-1.498580e-22
C6	-1.598958e-28	-2.178077e-29	-3.377722e-32	-2.816869e-29	1.552461e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	1.520501e-33	0.000000e+00

Copy provided by USPTO from the IFWI Image Database

C3	6.026920e-17	9.074630e-16	-2.187906e-15	2.197728e-15	-6.353989e-15
C4	-3.792813e-20	-7.153651e-20	3.131133e-19	-3.553387e-18	-2.243484e-18
C5	3.121506e-24	2.884237e-24	-3.422295e-23	-7.638265e-23	1.422334e-23
C6	-1.940311e-28	-4.358943e-29	2.472280e-27	2.576563e-26	-7.652798e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00

SRF	18	22	23	24	27
K	0	0	0	0	0
C1	4.805447e-08	1.366493e-08	-7.247654e-09	2.039086e-09	-2.335210e-07
C2	6.053101e-12	3.157722e-13	-1.844324e-13	4.079171e-12	-3.581428e-12
C3	1.864225e-16	4.418704e-18	-3.130608e-18	3.415807e-19	8.204976e-16
C4	1.774391e-19	3.842541e-22	-2.876782e-22	-3.143532e-21	-1.472132e-19
C5	-1.538124e-23	-1.422352e-26	1.047999e-26	-6.009771e-26	1.193755e-23
C6	1.486597e-27	5.625242e-31	-4.798652e-31	5.373759e-30	-5.012293e-28
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00

SRF	30	32	37	41	43
K	0	0	0	0	0
C1	-9.015949e-08	-4.710517e-08	2.981775e-08	7.825942e-08	-1.254855e-07
C2	-5.963683e-12	1.502154e-12	-1.562632e-15	-5.678508e-12	4.044789e-11
C3	-2.709599e-17	-1.008729e-16	-1.924785e-17	9.897699e-16	5.935178e-15
C4	1.782520e-20	-2.037099e-20	1.470777e-21	-1.257950e-19	-7.518165e-19
C5	-1.313151e-25	1.244695e-24	-9.287054e-26	1.131690e-23	5.626054e-23
C6	1.114296e-28	-7.926554e-29	2.454712e-30	-6.106697e-28	5.101190e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	1.494562e-32	0.000000e+00

Ausführungsbeispiel 4: $NA = 1.35$, $\beta = -0.25$, $\lambda = 193.4\text{nm}$

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMI DIAM.
0	0.000000	37.647680			62.000
1	213.097095	21.139875	SI02HL	1.56018811	81.073
2	980.962863	0.933467			81.638
3	312.309311	19.869666	SI02HL	1.56018811	82.923
4	7050.227976	14.977212			82.853
5	-284.845054	46.899913	SI02HL	1.56018811	82.842
6	-316.674517	31.820687			87.867
7	127.504953	32.199127	SI02HL	1.56018811	90.842
8	177.687028	14.069304			84.748
9	233.816949	49.949045	SI02HL	1.56018811	84.566
10	-272.601570	1.802731			81.010
11	92.974202	24.948435	SI02HL	1.56018811	61.866
12	228.036841	31.795297			55.983
13	-128.436888	15.028089	SI02HL	1.56018811	45.986
14	-208.039449	19.686225			50.292
15	-85.822730	9.039605	SI02HL	1.56018811	51.590
16	-124.923386	5.248146			59.096
17	-134.255203	24.981296	SI02HL	1.56018811	61.621
18	-86.028170	70.079618			66.114
19	-91.784845	49.926992	SI02HL	1.56018811	78.125
20	-130.258172	3.354815			102.297
21	-819.889396	43.461173	SI02HL	1.56018811	114.993
22	-193.549016	277.291798			117.690
23	-220.432400	-231.344649	REFL		147.536
24	175.171589	261.356424	REFL		120.087
25	222.618410	49.895981	SI02HL	1.56018811	93.866
26	227.634130	10.722465			85.687
27	469.132386	43.799915	SI02HL	1.56018811	85.491
28	112.693662	31.313114			76.622
29	12293.399547	31.702057	SI02HL	1.56018811	77.313
30	-155.449641	4.962336			79.575
31	-219.506451	26.268152	SI02HL	1.56018811	79.827
32	-1377.822971	32.354789			93.063
33	-519.892544	47.183977	SI02HL	1.56018811	101.635
34	-163.140684	1.841108			110.786
35	-340.920966	26.977392	SI02HL	1.56018811	116.967
36	-214.582539	2.006234			120.143
37	271.181444	53.143321	SI02HL	1.56018811	127.047
38	-1118.441818	19.790952			125.887
39	0.000000	-14.609943			112.489
40	174.102740	52.205661	SI02HL	1.56018811	107.954
41	-663.589997	3.836965			104.404
42	84.561977	46.625084	SI02HL	1.56018811	71.481
43	95.046969	0.694913			51.033
44	64.492898	46.885676	SAPHIR	1.92674849	46.520
45	0.000000	1.000000	H2O	1.43612686	18.265
46	0.000000	0.000000	AIR	0.00000000	15.515

ASPHERIC CONSTANTS

SRF	1	6	8	12	15
K	0	0	0	0	0
C1	-7.766221e-09	3.921777e-08	-1.973978e-08	2.262385e-07	-2.849645e-07
C2	-1.414298e-12	-7.469962e-12	1.686856e-11	-3.111178e-11	-3.795087e-11
C3	2.026799e-16	9.877277e-16	-1.521195e-15	8.999889e-15	-4.195519e-15

\\W:\01641\0201694us0\00225335.DOC { 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 }

00225335.DOC

Seite 10 von 14

C4	-9.311177e-21	-6.240165e-20	2.838141e-19	-4.631502e-18	-2.684695e-18
C5	8.983777e-26	3.683666e-24	-2.893390e-23	7.225241e-23	-2.249016e-23
C6	-5.139250e-30	-1.606542e-28	1.372152e-27	5.035383e-26	-5.606361e-26
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00

SRF	19	23	24	25	28
K	0	0	0	0	0
C1	2.306275e-08	9.197905e-09	-7.280789e-09	8.044076e-08	-1.035389e-08
C2	1.672430e-12	1.297990e-13	-2.062090e-13	6.845761e-13	5.752946e-14
C3	-3.451288e-18	1.447412e-18	-3.885785e-18	8.440855e-17	3.412577e-16
C4	3.656429e-20	4.002605e-23	-3.101616e-22	-8.233892e-21	-1.247784e-19
C5	-5.091821e-24	-7.044663e-28	1.113163e-26	1.115110e-24	5.556509e-24
C6	5.148418e-28	3.011922e-32	-6.186058e-31	-3.079026e-29	1.295943e-27
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00

SRF	31	33	38	41	44
K	0	0	0	0	0
C1	-1.291718e-07	-4.530057e-08	-1.801990e-08	-2.682021e-08	-1.900216e-07
C2	-4.385607e-12	-2.081953e-13	6.277450e-13	7.361672e-12	-4.832504e-11
C3	-2.255698e-16	1.680387e-16	-5.256278e-17	-3.951877e-16	-1.233010e-14
C4	-2.117620e-21	-4.155797e-20	-4.688822e-21	1.434967e-20	7.440284e-19
C5	-1.322919e-24	3.040355e-24	4.497908e-25	-3.980440e-26	1.430823e-22
C6	1.074049e-28	-1.238033e-28	-9.348185e-30	-2.642973e-29	-3.924075e-25
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	1.163864e-33	0.0000

Ausführungsbeispiel 5 : NA = 1.6, $\beta = -0.25$, $\lambda = 193.4\text{nm}$

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMI DIAM.
0	0.000000	37.663108			62.000
1	192.084227	26.622297	SI02V	1.56078570	87.833
2	1075.649716	0.946456			88.233
3	491.402040	19.101530	SI02V	1.56078570	88.867
4	-934.209447	36.905290			88.935
5	125.340633	9.623977	SI02V	1.56078570	90.013
6	122.019859	23.963817			87.312
7	252.185057	44.239148	SI02V	1.56078570	87.669
8	-204.394078	0.923049			87.161
9	102.471834	52.852020	SI02V	1.56078570	67.768
10	254.533994	9.305878			48.073
11	0.000000	52.418616			46.820
12	-75.641562	68.872834	SI02V	1.56078570	58.068
13	-124.953275	39.621161			93.864
14	-835.558655	54.318921	SI02V	1.56078570	126.993
15	-178.850083	0.948020			130.230
16	2111.392648	22.857019	SI02V	1.56078570	132.098
17	-901.583067	358.679202			132.071
18	-225.015829	-231.613549	REFL		160.876
19	168.185189	261.594819	REFL		120.144
20	-736.571530	23.114077	SI02V	1.56078570	81.485
21	132.965130	36.406211			86.933
22	-512.908458	28.535664	SI02V	1.56078570	87.621
23	-185.099986	6.615931			92.898
24	-544.628556	33.807132	SI02V	1.56078570	99.839
25	-547.431224	19.995820			114.885
26	-359.224408	99.479683	SI02V	1.56078570	119.014
27	-168.873687	12.916761			143.505
28	313.449462	92.758623	SI02V	1.56078570	165.026
29	983.057723	1.167054			158.153
30	227.152511	48.817493	SI02V	1.56078570	148.584
31	684.382976	0.981700			144.866
32	144.775480	60.829967	SI02V	1.56078570	121.541
33	1285.387522	0.899534			116.276
34	99.002284	39.642869	SI02V	1.56078570	84.155
35	243.117451	0.805490			74.674
36	65.952055	54.681070	SAPHIR	1.92674849	54.379
37	0.000000	0.000000	AIR	0.00000000	15.530

ASPHERIC CONSTANTS

SRF	4	5	10	14	18
K	0	0	0	0	0
C1	4.332466e-08	5.983847e-08	4.678448e-07	-5.502311e-09	9.581997e-09
C2	-4.251613e-12	-1.394334e-11	1.214772e-11	6.759433e-14	1.191548e-13
C3	8.548420e-16	1.246293e-15	1.462858e-14	-2.777895e-18	5.628084e-19
C4	-7.822847e-20	-2.065935e-19	-5.084805e-18	1.850960e-22	7.255139e-23
C5	3.463295e-24	1.861321e-23	4.192361e-22	-7.883399e-27	-1.691943e-27
C6	-7.495559e-29	-7.372680e-28	1.456331e-26	1.533878e-31	3.619858e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	19	20	21	24	26
K	0	0	0	0	0
C1	-5.661490e-09	8.762490e-08	-3.207763e-08	-6.520443e-08	4.364974e-09
C2	-1.921628e-13	-1.093121e-11	-5.311243e-12	4.777722e-13	-1.522836e-12

SRF	29	33	35
K	0	0	0
C1	8.788855e-09	3.258556e-08	1.084860e-07
C2	-6.462954e-13	1.588293e-12	6.094001e-12
C3	-1.551858e-17	-1.752790e-16	1.646644e-16
C4	1.099566e-21	1.227022e-20	-9.287322e-20
C5	-1.930245e-26	-5.173475e-25	1.657126e-23
C6	1.160550e-31	1.295964e-29	-1.278529e-27
C7	0.000000e+00	-1.104258e-34	0.000000e+00

8 Problemstellung

Bei der Immersionslithographie ist die mögliche Numerische Apertur zunächst durch die Brechzahl des Immersionsmediums beschränkt. Sind Flüssigkeiten mit hoher Brechzahl vorhanden oder wird Solid Immersion (Nahfeldlithographie, Kontakt-Projektionslithographie) verwendet, wirkt das Material des letzten Linsenelements als Beschränkung, falls die letzte Abschlußfläche plan oder nur schwach gekrümmt ausgelegt werden soll. Die plane Auslegung ist von Vorteil z.B. für die Abstandsmessung zwischen Wafer und Objektiv oder für die Reinigung.

9 Erfindung (Lösung)

a) Ein Lithographieobjektiv, bei dem wenigstens ein, insbesondere das letzte oder vorletzte (bei folgender Abschlussplatte) Linsenelement aus einem hochbrechenden Material ($n > 1,6$; $n > 1,8$) besteht. Die übrigen Linsenelemente können ohne weiteres eine kleinere Brechzahl haben. Ausnahmen sind Linsen, die zur Kompensation verwendet werden, siehe e).

Die Anwendungsbeispiele sind für 193nm gerechnet, das Material des letzten Linsenelements ist Saphir, die übrigen Linsen sind aus Quarz. Für 248nm ist GeO_2 als Material für die letzte Linse denkbar. Dieses Material besitzt gegenüber Saphir den Vorteil, dass es nicht doppelbrechend ist, bei 193nm ist es aber nicht mehr transmittierend.

b) Um eine $NA \geq 1,45$ zu erreichen wird eine Immersionsflüssigkeit mit höherer Brechzahl als Wasser benötigt. In den Anwendungsbeispielen wurde als Immersionsmedium Cyclohexan (Brechzahl $n=1,556$) verwendet. Immersionsmedien mit $n > 1,6$ werden derzeit in der Fachwelt als realistisch zu erwarten betrachtet.

Die objektseitige NA ist in diesen Fällen $\geq 0,3625$ bei einem Abbildungsmaßstab $\beta = 0,25$. Die Dicke der Flüssigkeitsschicht kann beispielsweise zwischen 0,1 und 10mm betragen.

c) Alternativ ist ein Objektiv aus a) auch für Solid Immersion anwendbar, was noch höhere numerische Aperturen erlaubt. Das Anwendungsbeispiel 10.2 zeigt Solid Immersion mit einer Saphirlinse bei einer NA von 1,6.

Da bei einem Übergang von Saphir in Luft das Licht an der Planfläche Totalreflexion erfährt, müssen für Solid Immersion Arbeitsabstände von $< 1\mu\text{m}$ realisiert werden, um emaneszente Wellen für die Belichtung des Wafers zu nutzen.

Dazu kann der Wafer an die letzte planare Linsenfläche angesprengt (oder angepresst) werden. In diesem Fall ist nur ein step-and-scan-modus möglich, d.h. größere Bereiche als das Bildfeld müssen durch Stepping oder Stitching belichtet werden, wobei nach 'Ansprengen des Wafers' die Retikelmaste entsprechend justiert werden muss (anstelle wie bisher der Wafer; d.h. man justiert für aneinander grenzende Belichtungsbereiche oder nachfolgende Belichtungsschritte anstelle des möglicherweise auch fehlerhaft angesprengten Wafers die Retikelmaste durch laterale und axiale Bewegung und Drehung so, daß die benötigte Overlay-Genauigkeit von z.B. Alignmentmarken auf dem Wafer (besser als wenige nm) erreicht wird. Die Lösung des Wafers von der letzten Fläche erfolgt beispielsweise unter Vakuum. Erforderlichenfalls befindet sich zwischen Wafer und letzter (planer) Linsenfläche eine dünne Schicht (Pellikel/Membran), die z.B. nach jedem Belichtungsschritt ausgetauscht werden kann. Diese Membran kann z.B. auch am Wafer haften bleiben und die Trennung unterstützen und dient insbesondere als Schutz der letzten planen Linsenfläche.

Bei Solid Immersion entstehen bei der Belichtung im Randbereich der letzten Linsenfläche durch die bildgebenden Interferenzen stehende Wellen hoher Intensität. Für die wiederholte Belichtung einer Struktur auf einen Wafer ist es daher sogar vorteilhaft, wenn der Wafer durch das Ansprengen zufällig in gewissen Bereichen von wenigen Mikrometern ungenau positioniert wird, was durch die Justage durch das Retikel ausgeglichen wird, um das Einbrennen systematischer Strukturen in die letzte Linse zu verhindern.

Bei der Verwendung von Saphir ist die verhältnismäßig hohe Doppelbrechung ein Problem. Folgende Kompensationsmöglichkeiten sind hier denkbar:

d) Das letzte Linsenelement ist gespalten und die beiden Teile sind zueinander verdreht. Die Trennfläche ist dabei bevorzugt so gekrümmt, dass beide Linsenteile ähnliche Brechkraft besitzen (Ausführungsbeispiel 10.1).

e) Alternativ kann mindestens ein zweites Element aus Saphir zur Kompensation verwendet werden, welches sich an einer optisch ähnlich wirkenden Stelle im Objektiv befindet, beispielsweise in der

Nähe von Zwischenbildern. Dieses wird auch hinsichtlich seiner Orientierung der Doppelbrechung anders eingebaut.

f) Um die Auswirkung der Doppelbrechung zu minimieren, kann das letzte Linsenelement aus einer dünnen Saphirlinse mit positiver Brechkraft bestehen, die mit einer Quarzplatte kombiniert, zum Beispiel angesprengt ist.

(Ausführungsbeispiel 10.3).

Falls die Immersionsflüssigkeit gegenüber Saphir aggressiv wirkt, kann eine angesprengte Quarzplatte auch als Schutz der Saphirlinse dienen.

Die NA ist in diesen Fällen durch die Brechzahl des Quarzes beschränkt, gegenüber einem Design mit einer letzten Linse aus reinem Quarz sind jedoch vor der letzten Linse kleinere Strahlwinkel und damit auch kleinere Durchmesser und geringere Sensitivitäten (Störeinflüsse von Fertigungstoleranzen) vorhanden.

g) Alternativ kann eine Quarzlinse mit erstem positivem Krümmungsradius und rückseitiger Planfläche auf eine oder zwei Planplatten aus Saphir aufgesprengt sein. Auch damit erreicht man keine höhere NA als in Quarz möglich ist (c.a. $NA = 1.45$), man hat aber den Vorteil, dass der Ausbreitungswinkel der Lichtstrahlen im letzten Objektivteil, wo die Apertur am größten ist, geringer wird.

Durch das hochbrechende Medium wird der Ausbreitungswinkel dort verringert. Dies ist vorteilhaft, wenn man die Reflexionsverluste und Streulichteefekte an der Grenzfläche und an möglichen Schutzschichten auf der letzten Abschlußfläche berücksichtigt, die für diese sonst sehr großen Ausbreitungswinkel ein Hindernis darstellen können. Die größten Winkel treten dann nur an der Ansprengfläche zwischen Quarzlinse und der ersten höherbrechenden Planplatte auf; diese Ansprengfläche ist geschützt von Verunreinigungen und Kratzern und kann mit einer für hohe Transmission geeigneten, aber durchaus auch gegenüber Umwelteinflüssen empfindlichen oder instabilen, Beschichtung versehen sein.

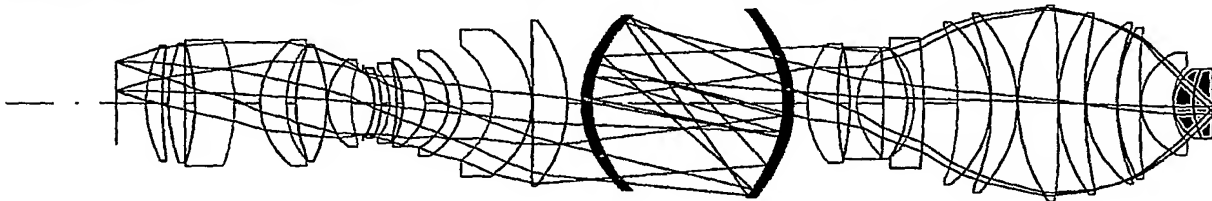
Durch die optional zwei zueinander verdrehten Planplatten aus Saphir kann auch der Doppelbrechungseffekt für die vorwiegend zur Abbildung der Halbleiterstrukturen erforderlichen S- und P-Polarisationen in x- und y-Richtung ideal kompensiert werden.

10 Ausführungsbeispiele

Sämtliche Ausführungsbeispiele zeigen katadioptrische Objektive mit zwei Hohlspiegeln und 2 Zwischenbildern. Einheitlicher Grundtyp ist gewählt, um die Variationen besser darzustellen. Die hochbrechende Linse lässt sich jedoch für alle denkbaren Designtypen von Mikrolithographie-Projektionsobjektiven anwenden.

Beispiel 10.1 (b035g)

Lithographieobjektiv für 193nm mit Saphirlinse und Cyclohexan als Immersionsmedium, NA 1.45, Arbeitsabstand 1mm. Die Saphirlinse ist in zwei Teile ähnlicher Brechkraft aufgespalten.

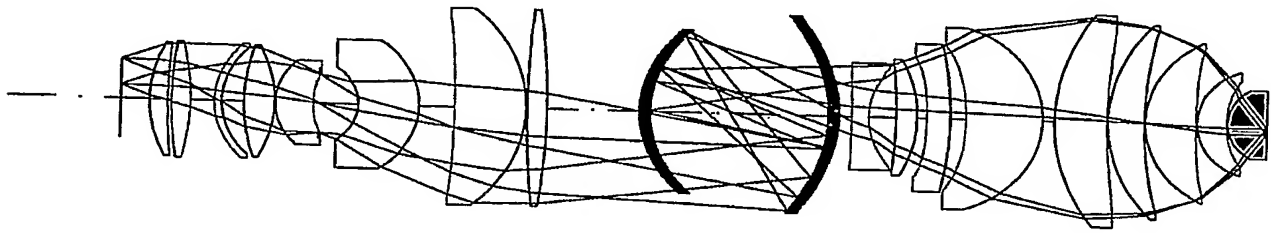


Merkmale sind : $NA = 1.45$, Spiegel, Zwischenbild, Taille, optional aufgespaltete Endlinse.

Der vordere (objektseitige) Radius des vorletzten Linsenelements ist nahezu konzentrisch zur Bildebene (Waferebene), der vordere Radius der aufgespaltenen Saphirlinse ist flacher (Radius ~ 1.3 -2 mal Abstand zum Bild (Wafer))

Beispiel 10.2 (b029b)

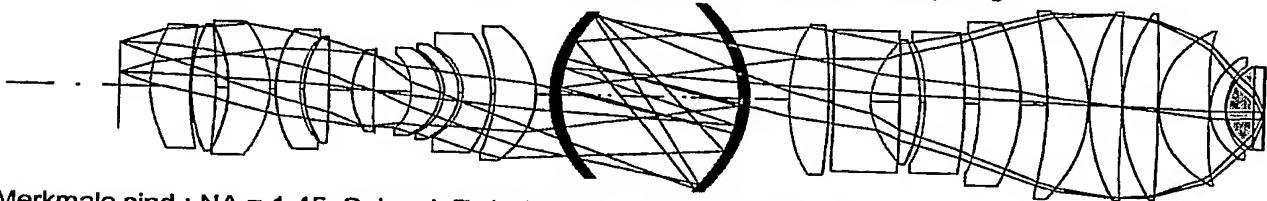
Lithographieobjektiv für 193nm mit Saphirlinse und Solid Immersion, NA 1.6.



Merkmale sind : $NA = 1.6$, Spiegel, Zwischenbild, Taille, optional aufspaltete Endlinse

Beispiel 10.3 (b037a)

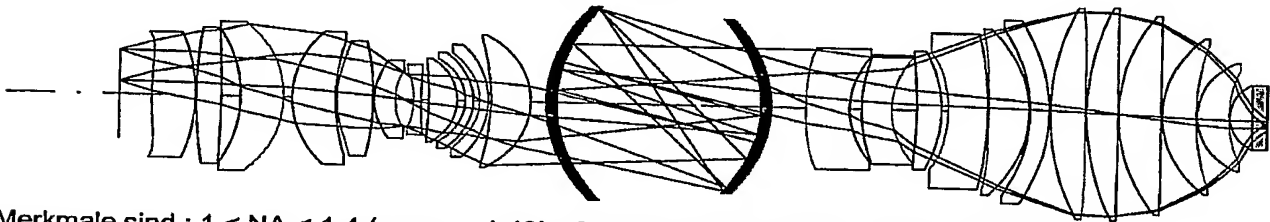
Lithographieobjektiv für 193nm mit Saphirlinse und Cyclohexan als Immersionsmedium, NA 1.45, Arbeitsabstand 1mm. Auf die dünne Saphirlinse ist eine Quarzplatte angesprengt.



Merkmale sind : NA = 1.45, Spiegel, Zwischenbild, Taille, die Brechzahl des Immersionsmediums entspricht in etwa der von Quarz.

Beispiel 10.4 (b037b)

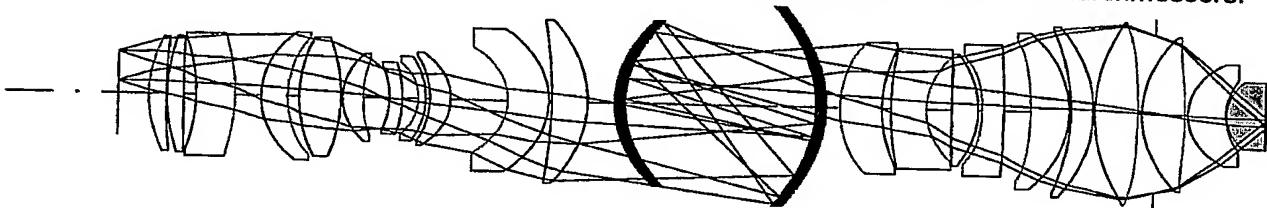
Lithographieobjektiv für 193nm mit einer Quarzlinse mit angesprengter Saphirplatte. Das Immersionsmedium ist Wasser, NA 1.35, Arbeitsabstand 1mm.



Merkmale sind : $1 < NA < 1.4$ ($n_{\text{wasser}} = 1.43$), Spiegel, Zwischenbild, Taille, optional aufgespaltete Abschlussplatte.

Beispiel 10.4 (b035cb)

Lithographieobjektiv für 193nm mit Saphirlinse und Wasser als Immersionsmedium, NA 1.35, Arbeitsabstand 1mm. Die Oberseite der Saphirlinse ist asphärisch, die Blende liegt im bildseitigen Teil des Objektivs im konvergenten Strahlengang, nach dem Ort des größten Lichtbündeldurchmessers.



Merkmale sind : $1 < NA < 1.4$ ($n_{\text{wasser}} = 1.43$), Spiegel, Zwischenbild, Taille, optional aufgespaltete Endlinse aus doppelbrechendem Medium (vergleiche dazu US 6,717,722 B Schuster), optional vorletzte Fläche asphärisch. Die Blende (bildseitige Pupille) liegt hinter dem 2. Bauch.

E204267 (04136P US PRE)

1. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv mit wenigstens einer Linse aus einem hochbrechenden Material mit Brechungsindex größer als 1,6, vorzugsweise größer 1,8 bei einer Betriebswellenlänge.
2. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, wobei das genannte Material Saphir ist.
3. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, wobei das Material Germaniumdioxid ist.
4. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, wobei die maskenseitige numerische Apertur über 0,3, vorzugsweise über 0,36 liegt bei einem betragsmäßigen Abbildungsmaßstab von $|\beta| \leq 0,25$.
5. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 – 4, wobei mindestens eine zweite Linse aus einem genannten hochbrechenden Material vorgesehen ist.
6. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, wobei die erste und die zweite Linse Doppelbrechung aufweisen, welche bei beiden verschieden orientiert ist.
7. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Bildebene und einer dieser nächstgelegenen Pupillenebene oder Systemapertur und einem konvergenten Strahlengang zwischen besagter Pupillenebene oder Systemapertur und Bildebene.
8. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Bildebene und einer von dieser fernsten Linse, von der an bis zu der Bildebene konvergenter Strahlengang vorliegt, wobei eine Pupillenebene oder Systemapertur in mindestens 10 mm Abstand bildseitig von besagter Linse angeordnet ist.
9. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Kombination der Merkmale von mindestens zwei der vorhergehenden Ansprüche.
10. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsverfahren, wobei ein Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach mindestens einem der vorhergehenden verwendet wird und zwischen einer letzten Linse des Mikrolithographie-Projektionsobjektivs und einem zu belichtenden Objekt eine Immersionsflüssigkeit eingebracht wird.
11. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 10, wobei eine Immersionsflüssigkeit mit einem Brechungsindex größer 1,4, vorzugsweise größer 1,5 oder 1,55 bei einer Betriebswellenlänge verwendet wird.
12. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsverfahren wobei ein bildseitig letztes optisches Element eines verwendeten Projektionsobjektives an das zu belichtende Objekt angesprengt oder angepresst wird.

13. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsverfahren, wobei zuerst ein Projektionsobjektiv und ein zu belichtendes Objekt relativ zueinander positioniert werden und dann eine Maske dazu ausgerichtet wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12 und 13.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei ein Mikrolithographie-Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 9 verwendet wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei das Verfahren für mehrere nebeneinander liegende Flächenstücke auf einem Substrat, insbesondere einem Wafer, wiederholt wird.

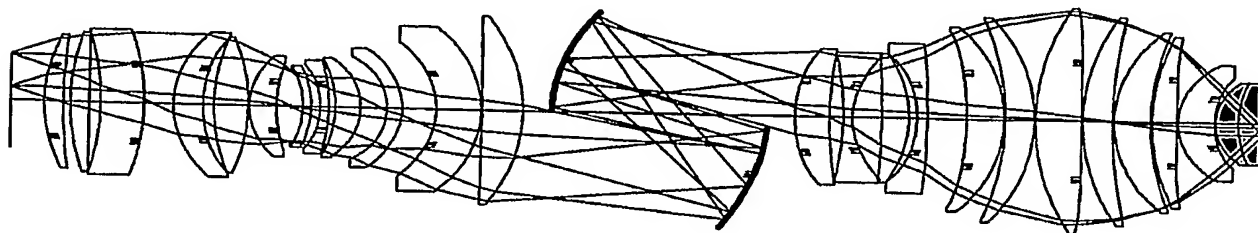


Abb. 1

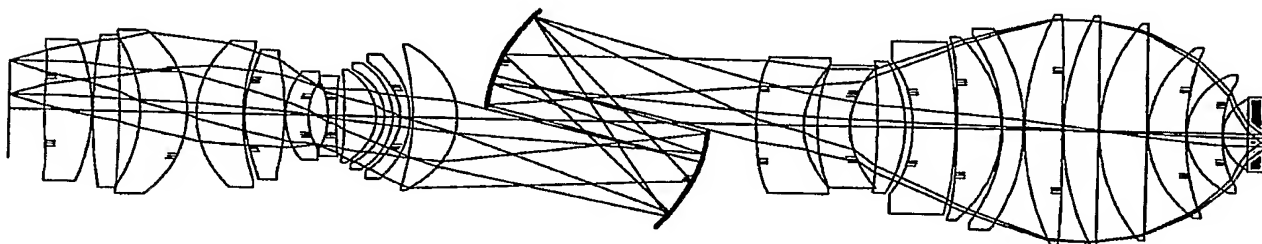


Abb. 2

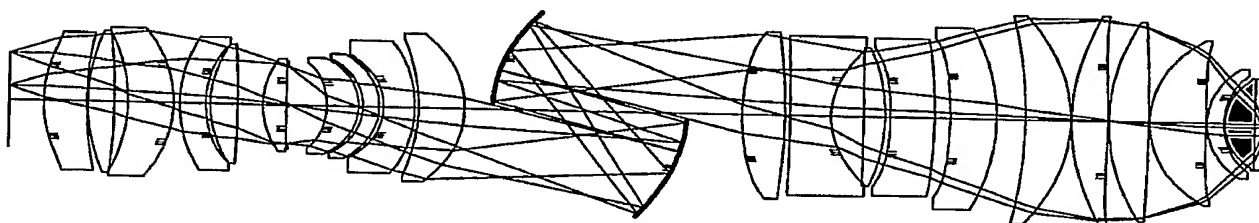


Abb. 3

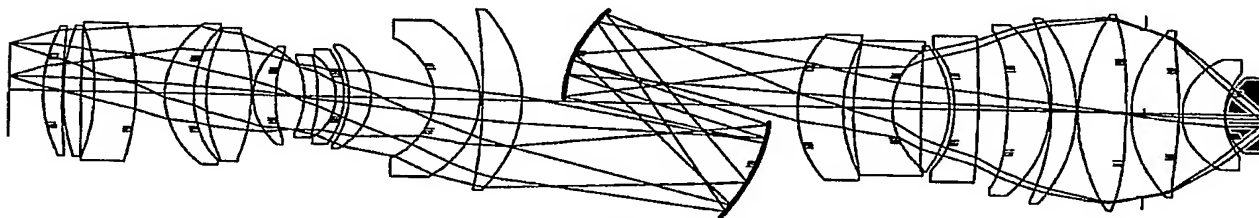


Abb. 4

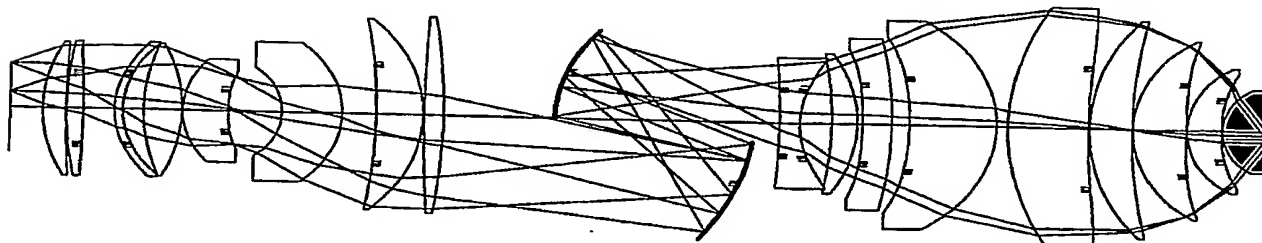


Abb. 5